

Productividad de Biomasa Comestible y Producción Láctea en Sistemas Silvopastoriles de la Región Andina de Ecuador

Productivity of Edible Biomass and Dairy Production in Silvopastoral systems of the Andean Region of Ecuador.

Hernán Rigoberto Benavides-Rosales¹, Jorge Iván Mina-Ortega¹, Liliana Margoth Chamorro-Hernández²,
Nataly Tatiana Coronel-Montesdeoca², Paul Santiago Ortiz-Tirado¹, Juan Ramón García-Díaz²

¹Universidad Politécnica del Carchi. Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales. Tulcán, Carchi, Ecuador.

²Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Medicina veterinaria y Zootecnia-Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP), Carretera a Camajuani Km. 5 ½. Santa Clara. CP 54830, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

*Autor correspondencia: juanramon@uclv.edu.cu

RESUMEN

Para evaluar el impacto de los sistemas silvopastoriles (SSP) en el rendimiento de la biomasa comestible, el consumo de materia seca y la producción láctea en los rebaños lecheros de la Región Andina de Ecuador, se desarrolló esta investigación. Se estudiaron tres agroecosistemas (AES); los AES 1 y 2 contenían *Alnus acuminata* H.B.K (Aliso) y *Acacia melanoxylon* R.Br. (Acacia), respectivamente, en asociación con el estrato herbáceo, y el AES, pastos solamente. Se determinó el efecto del año y AES en el rendimiento de la biomasa comestible y en el consumo de MS mediante un ANOVA multifactorial con interacción. La producción láctea se analizó mediante un método de los mínimos cuadrados. El rendimiento de la biomasa comestible fue mayor ($P < 0,05$) en el AES 1, en el primero y segundo años y el consumo de materia seca en el AES 1 durante los tres años. La producción láctea en el primer año no difirió significativamente entre los AES, pero en el segundo año fue superior ($P < 0,05$) en el AES 1 y en el tercer año en los AES 1 y 2. Las medias de producción láctea ajustada fueron superiores ($P < 0,05$) en las vacas de los AES 1 y AES 2. En los tres años, la producción láctea total fue superior en el AES 1. Se concluye que los AES 1 y AES 2 favorecieron el rendimiento de la biomasa comestible, pero en el AES 1 fueron superiores el consumo de materia seca y la producción láctea.

Palabras clave: Sistemas silvopastoriles; agroecosistemas, biomasa comestible, producción láctea

ABSTRACT

To evaluate the impact of silvopastoral systems (SSP) on the yield of edible biomass, dry matter consumption and milk production in dairy herds in the Andean Region of Ecuador, this research was developed. Three agroecosystems (AES) were studied; AES 1 and 2 contained *Alnus acuminata* H.B.K (Aliso) and *Acacia melanoxylon* R.Br. (Acacia), respectively, in association with the herbaceous stratum, and the AES, grasses only. The effect of year and AES on edible biomass yield and DM consumption was determined using a multifactorial ANOVA with interaction. Dairy production was analyzed using a least squares method. The yield of edible biomass was higher ($P < 0.05$) in AES 1, in the first and second years, and dry matter consumption in AES 1 during the three years. Milk production in the first year did not differ significantly between the AES but in the second year it was higher ($P < 0.05$) in AES 1 and in the third year in AES 1 and 2. The means of adjusted milk production were higher ($P < 0.05$) in the cows of AES 1 and 2. In the three years the total milk production was higher in AES 1. It is concluded that AES 1 and 2 favored the yield of edible biomass, but in AES 1 dry matter consumption and milk production and its efficiency were higher.

Key words: Silvopastoral systems; agroecosystems; edible biomass; dairy production

INTRODUCCIÓN

La producción bovina se desarrolla en disímiles condiciones y con diversos sistemas de producción, donde para la producción de leche una de las razas más utilizada es la Holstein (*Bos taurus*) [1]. En las áreas tropicales de América Latina la alimentación del ganado se basa en el pastoreo extensivo en pastizales naturales o en praderas con gramíneas tropicales en monocultivo y la ausencia de árboles [2].

Los sistemas descritos predominan en los rebaños bovinos especializados de la Región Andina de Ecuador [3]. En esas condiciones se degradan los suelos, existe baja oferta de sombra, se afecta la cantidad y calidad de la biomasa comestible y el comportamiento bioeconómico de los animales [4].

La implementación de los Sistemas Silvopastoriles (SSP), contribuyen a la solución de los problemas ambientales, de salud animal y de producción causados por la ganadería extensiva [5]. Además, reducen el uso de insumos externos en los agroecosistemas (AES) agropecuarios [6].

Los SSP garantizan elevar la disponibilidad de biomasa comestible de alta calidad, aumentar la disponibilidad de MS y nutrientes por animal por día [7], con mayor confort animal al reducir el estrés calórico [8, 9]. Consecuentemente, favorecen al ambiente, reducen el déficit nutricional y mejoran la producción láctea de las vacas lecheras [10, 11]. Sin embargo, no existe información científica concluyente sobre estos aspectos en los SSP de la Región Andina de Ecuador.

El objetivo de este trabajo es evaluar el impacto de los SSP en el rendimiento de la biomasa comestible, el consumo de materia seca y la producción láctea en los rebaños lecheros de la Región Andina de Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Escenario de la investigación y sus condiciones edafoclimáticas

La investigación se realizó en la parroquia “El Carmelo”, cantón Tulcán, provincia del Carchi, Ecuador e involucró a tres AES lecheros durante los años 2020, 2021 y 2022, el escenario de investigación se ubica en el área hidrográfica 230, desde los 0° 39' y 33"N y 77° 36' y 20 "W hasta 0° 38' y 55"N y 77° 36' y 25 "W, con una altitud de 2916 a 3006 m.s.n.m. [12].

El área experimental dispone de 54,4 ha; suelo Andisol, con materia orgánica, pH, retención de agua y profundidad efectiva que fluctúan entre 10 y 25 %; 5,5 y 6,5; 20 y 100 % y 20 y 70 cm, respectivamente. Posee relieve ondulado con porcentaje de pendiente que fluctúa entre 10 y 40 % y el N₂ varía de valores medios a altos, lo que coloca a la acidez como la limitante principal de los suelos de la región andina de Ecuador [11].

Las precipitaciones en los años del experimento fluctuaron entre 892,50 a 1.317,50 mm. Los promedios de las temperaturas media; máxima y mínima en el periodo de estudio fueron 12,12; 16,49 y 8,06 °C, respectivamente [12].

Características de los agroecosistemas (AES)

Se utilizaron tres AES en un diseño experimental completamente al azar. En los mismos los pastos predominantes fueron: Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* L.), Ray grass (*Lolium perenne* L.), Holco (*Holcus lanatus* L.) y Trébol blanco (*Trifolium repens* L.). Los AES contaron con un área de 4,75; 4,62 y 5,22 ha, para los AES 1, 2 y 3, respectivamente.

El AES 1 estaba compuesto por pastos y árboles de *A. acuminata*, el AES 2 por pastos y árboles de *A. melanoxylon* y el AES 3 por pastos solamente. Los árboles en los AES 1 y AES 2 se establecieron en diciembre de 2019, con una densidad de siembra de 1000 árboles ha⁻¹, en filas dobles, con una separación de dos metros, siguiendo las curvas de nivel. Los árboles jóvenes se protegieron de los daños causados por las vacas, mediante cercas eléctricas dobles, las que sirvieron a su vez para dividir los cuartos.

El método de pastoreo fue rotacional. No se administró concentrado proteico energético, pero si se suplementó sales minerales por vía oral *ad libitum*. Se realizó el ordeño mecanizado de las vacas, dos veces al día, 5:00 – 7:00 am. y 3:00 – 5:00 pm. Se empleó la crianza artificial del ternero a partir del tercer día de nacido.

Animales utilizados

Se utilizaron entre 29 y 34 vacas Holstein en producción y se asignaron al azar entre 9 y 12 de ellas por cada AES. Los animales tenían entre tres a cuatro años, condición corporal al parto (CCP) entre 3,0 y 4,0 puntos en la escala de cinco puntos, tercera o cuarta lactancia, producción láctea de 10 ± 2 L vaca⁻¹ día⁻¹. Además, estaban clínicamente sanas y sin tratamiento médico.

Metodologías de trabajo

Estado de salud

Al inicio del experimento y durante todo el estudio se diagnosticó el estado general de salud, se determinó usando las invariantes funcionales del método clínico [13]. Todos los animales se desparasitaron con Ivermectina (Ivermectina 1%, Laboratorios Erma S.A., Colombia).

Composición botánica del estrato herbáceo

Las especies de pastos que componen la pradera son, Kikuyo, Ray grass, Pasto azul, Holco y Trébol blanco. La composición botánica se determinó por el método de los pasos [14].

Estimación de la disponibilidad de pastos

El cálculo del rendimiento de los pastos se realizó mediante el uso del rising plate meter (*B.M. Butler Computing, Palmerston North, Nueva Zelanda*), con este instrumento se comprime la pradera y registra su altura, los resultados obtenidos están en función de la calibración del plato mediante el método de corte, mediante la aplicación de una ecuación de regresión lineal simple nos da un valor expresado en kg MS ha⁻¹ [15]. El número de observaciones se realizó en base al tamaño del cuartón tomando como referencia 100 mediciones ha⁻¹ antes y después del pastoreo.

Productividad en Sistemas Silvopastoriles / Benavides y cols.

Estimación del consumo en el estrato herbáceo

Para estimar el consumo en el estrato herbáceo se midió la disponibilidad antes de entrar el rebaño y el residual después de su salida, la altura del residual de los pastos fue de 5 a 7 cm aproximadamente y el porcentaje de aprovechamiento de 50 - 60 %. El consumo dependió del PV de los animales y se expresó con base en MS animal⁻¹ día⁻¹. La evaluación se realizó con una frecuencia mensual tomando en cuenta las porciones ofertadas a los animales.

Estimación de la biomasa arbórea comestible

Se estimó, de acuerdo a la metodología descrita por Medina y col. [16].

Balance nutricional

El balance nutricional se calculó según los alimentos ofertados (mezcla de los pastos, sal mineral y el follaje de las arbóreas en el tercer año), los requerimientos de las vacas y el aporte de cada año. Además, se consideró el promedio anual del PV, aumento de PV, leche potencial y real, porcentaje de grasa, gasto por locomoción, alimento consumido y número de lactancia. Para este cálculo se utilizó el software desarrollado por Roche y col. [17].

Producción de leche

Los pesajes se hicieron en forma individual a los animales que estuvieron en cada AES en los dos momentos del ordeño diario, mediante sistema Waikato de la marca Waikato® (Hamilton, Nueva Zelanda), con frecuencia quincenal.

Curva de lactancia ajustada

Se utilizó el método práctico para el cálculo de la curva de lactancia potencial (CLP) en rebaños lecheros desarrollado por Palacio y col. [18].

Determinación de la producción de leche por AES y por ha⁻¹

Para determinar la producción de leche se sumaron sus producciones diarias y se llevaron a producción L año⁻¹ de cada AES estudiado.

Análisis estadístico

La composición botánica según el año, dentro de cada AES se determinó mediante comparación múltiple de proporciones. Se determinó el efecto del año y AES en el rendimiento de la biomasa comestible y en el consumo de MS mediante un ANOVA multifactorial con interacción y las medias de los componentes se compararon mediante la prueba de Duncan [19]. En estos procesamientos estadísticos se utilizó el paquete estadístico Statgraphics Centurion versión XV. II [20].

Para el análisis estadístico de la producción de leche se utilizó un modelo de efecto aleatorio de cada animal asociado a cada Agroecosistema, mientras que, los demás efectos fueron fijos, ellos son: agroecosistemas, años de estudio, control de pesaje de leche quincenal, bimestre de producción y de parto, así como las interacciones entre ellos. Se empleó el método de los mínimos cuadrados. El modelo resultante se presenta a continuación:

$$Yijklm = \mu + \alpha_i(S_j) + S_j + A_k + P_l + G_m + F_n + SA_{jk} + FN_{mn} + e_{ijklm}$$

Dónde: Yijklm representa la producción lechera en cada pesaje de leche.

μ : Constante o media general

$\alpha_i(S_j)$: efecto aleatorio de cada animal asociado a cada Agroecosistema

S_j : efecto del j-ésimo Agroecosistema (AES 1, AES 2 y AES 3)

A_k : efecto del k-ésimo año (1 al 3)

P_l : efecto del l-ésimo pesaje quincenal (1 al 26)

G_m : efecto del m-ésimo bimestre de producción

F_n : efecto de la n-ésimo bimestre de parto

SA_{jk} : interacción del l-ésimo Agroecosistema y el k-ésimo año

GF : interacción entre la m-ésimo bimestre de producción y el n-ésimo bimestre de parto

e_{ijklm} : Error residual.

Las medias de la producción de leche se obtuvieron mediante el método de mínimos cuadrados, del paquete estadístico Statistical Analysis System, SAS [21], las mismas están corregidas por la variabilidad de los efectos en el modelo antes descrito.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento de la biomasa comestible y el consumo de MS vaca⁻¹ día⁻¹ se afectaron ($P < 0,0001$) por la interacción AES – Año (TABLA I). En el primero y segundo años, el AES 1 tuvo valores medios superiores ($P < 0,05$) que, en el tercer año, ello pudo deberse a una menor precipitación en el último año, y al efecto de la competencia de la sombra de los árboles con el pasto base [22]. El valor medio en el año tres de todos los AES es inferior en 2 t ha⁻¹ a los dos primeros años, ello repercutió en la producción láctea.

El rango de variación del consumo de MS estuvo entre 11,69 y 13,31 kg MS vaca⁻¹ día⁻¹, y fue mayor ($P < 0,05$) en las interacciones representadas por el AES 1 con el resto de los AES – Años.

El mayor ($P < 0,05$) rendimiento de la biomasa comestible en el AES 1 (TABLA I), indican que el Aliso se adaptó mejor a las condiciones edafoclimáticas, que la Acacia. No obstante, se requieren más investigaciones, en otras condiciones de producción, para evaluar cuál de las dos arbóreas tiene mayores potencialidades para su inclusión en los SSP.

TABLA I. Interacción AES-Año para el rendimiento y el consumo de pastos y biomasa comestible arbórea.

AES	Año	biomasa comestible, t ha ⁻¹	consumo, Kg MS vaca ⁻¹ día ⁻¹
AES 1	1	2550,83 ^a	13,31 ^a
	2	2577,50 ^a	13,30 ^a
	3	2281,67 ^b	13,04 ^a
AES 2	1	2320,42 ^b	11,96 ^b
	2	2301,67 ^b	12,11 ^b
	3	2110,83 ^{cd}	12,19 ^b
AES 3	1	2215,67 ^{bc}	12,18 ^b
	2	2251,67 ^{bc}	11,83 ^b
	3	1987,67 ^d	11,69 ^b
EE±		32	0,14
Valor p		0,0001	0,0001

Leyenda: n: 12 Medias con letras diferentes dentro de la misma columna indican diferencias estadísticas significativas $P \leq 0.05$

El incremento de la producción de biomasa en los AES 1 y 2, con respecto al AES 3 corroboran los obtenidos en Cuba en un SSP con Leucaena [23]. Estos sistemas pueden admitir una carga de 1,0 a 1,7 UGM ha⁻¹, en función del tipo de suelo y su fertilidad, la especie de pasto, la especie de árbol y su densidad, así como el manejo del sistema y el potencial productivo de los animales, y representan una alternativa promisoriosa para la producción animal en el trópico [10].

El mayor consumo de pastos en el AES 1 obedece a que en el mismo la introducción del Aliso mejoró la composición botánica, especialmente se incrementó ($P < 0,05$) el rendimiento del Kikuyo a partir del segundo año lo que puede estar relacionado a que esta especie se desarrolla mejor en ambientes húmedos y temperaturas iguales o mayores a 12°C, y es resistente a una alta carga animal [24].

Además, la mejora en el rendimiento de la disponibilidad de pastos y la biomasa comestible arbórea en los AES 1 y 2 se logró con el uso de bajos insumos externos y sin la aplicación de fertilizantes nitrogenados; ello se explica por la habilidad que las arbóreas leguminosas utilizadas, especialmente el Aliso, de realizar aportes de nitrógeno al suelo [25].

Los mejores resultados con el Aliso pueden deberse a que esta arbórea presenta un sistema radical poco profundo, amplio y extendido, y en sus raíces tiene una simbiosis tripartita con un actinomiceto del género *F. alnii* y con especies de hongos micorrízicos. Esto le permite fijar N₂ (279-400 kg de N ha⁻¹año⁻¹), absorber P, colonizar suelos pobres y fertilizarlos; acumulando una extraordinaria cantidad de materia orgánica en un tiempo relativamente corto, lo que representa una ventaja para el crecimiento de los pastos [26]. Estas bondades también influyeron en que ésta arbórea tuviera mayor crecimiento y desarrollo que la Acacia.

Los requerimientos de energía metabolizable se cubrieron en el AES 1 al 107,37 y 103,34 %, en el primer y tercer año, respectivamente y similar situación tuvo el AES 3, donde en esos periodos ese nutriente se cubrió al 108,67 y 120,15 %, por igual orden. En el segundo año solo se cubrió el 97,72 y 96,72 % de la energía, respectivamente.

En el AES 2 se constató déficit energético de 9,62, 15,48 y 1,26 MJ, en los años 1, 2 y 3, por ese orden. En los tres AES se excedieron los requerimientos de proteína cruda en los tres años de estudio, entre un 106, 89 % y 183,01 % de sus demandas.

En los SSP, la disponibilidad de alimentos es mayor, incrementando la concentración de proteínas, producto de las leguminosas establecidas en el sistema, como en las propias gramíneas que aprovechan el nitrógeno incorporado al suelo producto de la simbiosis y por el efecto sombra [23, 27]. En los SSP con vacas de mediano potencial en lactación, en suelos de mediana fertilidad, se exceden los requerimientos de PC (20,0 y 35,0 % por encima de las necesidades) y existe déficit de energía [8].

El exceso de proteína cruda encontrado en esta investigación, unido al déficit de energía que tuvieron las vacas, hace que los animales utilicen las proteínas con fines energéticos. Lo anterior incrementa nitrógeno ureico en sangre (BUN) y genera un gasto energético extra y un balance energético aún más negativo [28].

En la producción de leche también hubo efectos de la interacción AES año ($P < 0,0001$), aunque en el primer año no difirió significativamente entre los AES (FIG. 1), lo que se explica porque en dicho período, los AES 1 y 2 aún no estaban establecidos.

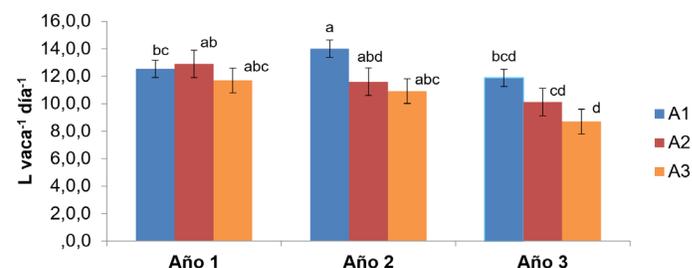


FIGURA 1. Valores promedio de la producción de leche corregida por la variabilidad de los efectos del modelo Interacción de AES-Año.

Leyenda: *** $P < 0,0001$. abcd Medias con superíndices no comunes difieren a $P < 0.05$

Productividad en Sistemas Silvopastoriles / Benavides y cols.

En el segundo año, en el AES 1, se produjeron 2,4 y 3,1 L vaca⁻¹ día⁻¹ más que en los AES 2 y 3, respectivamente; sin diferencias estadísticas significativas entre ellos, debido, probablemente, a que solo existieron nueve vacas en ordeño por cada uno. En este periodo, en el AES 1 la producción media de leche fue mayor ($P < 0,05$) que la que se obtuvo en el mismo en los años 1 y 3, y en los AES 2 y 3 en el tercer año (FIG. 1).

En la FIG. 1 se aprecia que la diferencia en la producción promedio de leche en el AES 1 fue mayor entre el segundo y tercer año. En este último periodo se produjeron 2,1 L vaca⁻¹ día⁻¹ menos, en comparación con el segundo año, lo que puede explicarse por las afectaciones en la disponibilidad de pastos provocadas por una menor precipitación en este periodo.

En el tercer año la producción láctea fue superior ($P < 0,05$) en los AES 1 y 2, con respecto al AES 3 (FIG. 1). En este periodo el valor absoluto de la producción láctea en el AES 1 fue mayor 1,8 y 3,2 L vaca⁻¹ día⁻¹ con los AES 2 y AES 3, respectivamente.

En la FIG. 2 se expone la producción real ajustada, donde se puede observar que las medias de producción de leche de las vacas de los AES 1 y 2 no difieren significativamente entre ellas, pero la de estos son mayores ($P < 0,05$) que las del rebaño del AES 3, excepto al final de la lactancia, entre los 271 y 300 días. El pico de producción en los tres AES se alcanza entre los 60-90 días, momento en que comienza a disminuir y en el AES 1, que utiliza al aliso como arbórea, llega hasta los 17,90 L vaca⁻¹ día⁻¹.

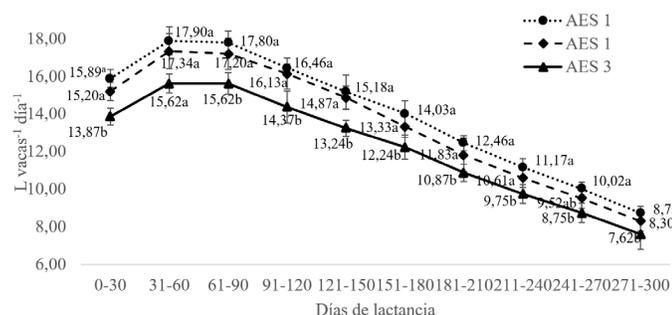


FIGURA 2. Curva de lactancia real ajustada para AES 1, AES 2 y AES 3, en el año 2022.
 Leyenda: ^{a,b,c} Letras diferentes en los superíndices de cada AES en el mismo momento de la lactancia indican diferencias significativas * $P < 0,05$

La mayor producción en los AES 1 y AES 2 con respecto al AES 3 pudiera justificarse, en parte, porque en ellos mejoró la composición botánica, hubo mayor rendimiento de la biomasa comestible, superior consumo de MS (TABLA I), lo que favoreció el balance de nutrientes. Esta investigación corrobora que el Aliso y la Acacia mejoran la productividad y calidad de los forrajes, y de la producción láctea [29].

Los SSP garantizan un mayor aporte de follaje proveniente de la leguminosa y economizan el uso de fertilizante nitrogenado [30]. Por lo anterior, representan una alternativa promisoría para la producción animal en el trópico, que incrementa en la producción de leche con respecto al pastoreo convencional en monocultivo, con un impacto económico positivo [10, 29].

Además, los SSP minimizan los efectos del estrés calórico, aunque las condiciones climáticas sean adversas, ya que proporcionan un microclima favorable bajo la sombra de los árboles, donde la temperatura puede disminuir de 2,0-5,0 °C; con lo que facilitan confort a las vacas durante su ciclo productivo [31]. En estas condiciones las vacas pierden menos peso y energía, mantienen mejor CC y mejoran el desempeño reproductivo y la producción láctea [10].

En los años 1 y 2 la producción láctea total fue superior en el AES 1, donde se produjo 8,54 y 15,79 %, y 7,49 y 26,75 % más leche que en los AES 2 y 3, por igual orden. En el tercer año, el AES 1 obtuvo superior producción láctea, 20,47 y 11,22 % más que en los AES 2 y 3, respectivamente (FIG. 3).

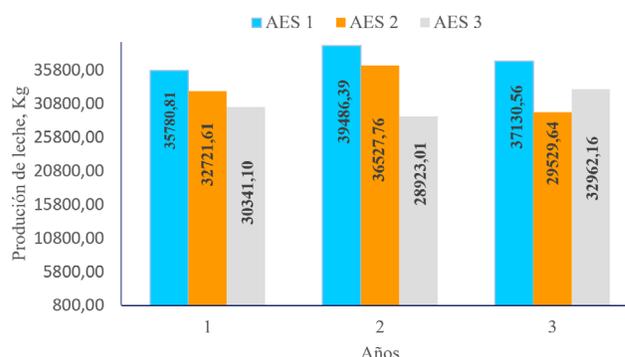


FIGURA 3. Producción de leche total por AES durante los años 1, 2 y 3 (2020, 2021 y 2022)

Considerando la producción láctea total por AES y el área de cada uno de ellos, se constata que la producción de leche por hectárea en el AES 1 también fue superior. En el primer año, 5,97 y 22,83 %; en el segundo año, 4,88 y 33,34 % y en el tercer año 18,23 y 19,22 % más leche que en los AES 2 y 3, por igual orden.

El incremento de la producción láctea por unidad de área en los AES 1 y AES 2 pueden deberse al uso más eficiente del suelo gracias a la mayor productividad y mejor calidad de los pastos [32], lo que incrementa la digestibilidad total de la dieta con la inclusión del follaje arbustivo y aumenta el consumo voluntario de los animales, que se refleja directamente en la cantidad y calidad de leche producida [33].

CONCLUSIÓN

Se demuestran las bondades de los SSP en la productividad de los AES bovinos dedicados a la producción lechera. En los AES 1 y 2, el Aliso y la Acacia favorecieron el rendimiento de la disponibilidad de pastos y la biomasa comestible arbórea, y en el AES 1 fue mayor el consumo de MS. En el AES 1 la producción de láctea fue mayor el segundo año, con respecto a los AES 2 y AES 3, mientras que en los AES 1 y AES 2 fue superior en el tercer año, en comparación con el AES 3.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a la administración de la Finca San Vicente, escenario de la presente investigación y a las autoridades, docentes y estudiantes de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC), por su contribución desinteresada para su realización.

Conflicto de intereses

Los autores no tienen conflicto de intereses.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Michael P, de Cruz CR, Mohd-Nor N, Jamli S, Goh YM. The potential of using temperate-tropical crossbreds and agricultural by-products, associated with heat stress management for dairy production in the tropics: A review. *Animals*. [Internet]. 2022; 12(1):1. doi: <https://doi.org/pjts>
- [2] Durand-Chávez LM, Vásquez-Pérez HV, Ushiñahua-Ramírez D, Carrasco-Chilón W, Depaz-Hizo BA, Saucedo-Uriarte JA. Yield performance of forage shrubs and effects on milk production and chemical composition under the tropical climatic conditions of Peru. *Sustainability*. [Internet]. 2022; 14(19):12774. doi: <https://doi.org/gvsw6x>
- [3] Balarezo L, García-Díaz JR, Hernández-Barreto M, Vargas-Hernández S. Involución uterina en vacas Holstein en la provincia El Carchi, Ecuador. *Rev. MVZ Córdoba*. [Internet]. 2018; 23(2):6649-6659. doi: <https://doi.org/g8m3jb>
- [4] Ramilan T, Jayasonghe P, Donaghy DJ, Pembleton KG, Barber DG. Comparison of nutritive values of tropical pasture species grown in different environments, and implications for livestock methane production: A meta-analysis. *Animals*. [Internet]. 2022; 12(14):1806. doi: <https://doi.org/pjtt>
- [5] Buitrago Guillen ME, Ospina-Daza LA, Narváez-Solarte W. Sistemas silvopastoriles: alternativa en la mitigación y adaptación de la producción bovina al cambio climático. *Bol. Cient. Cent. Mus. Hist. Nat.* [Internet]. 2018; 22(1):31-42. doi: <https://doi.org/g82sht>
- [6] Tzec-Gamboa MC, Álvarez-Rivera OO, Ramírez-Avilé L, Solorio-Sánchez FJ. Decomposition and nitrogen release rates of foliar litter from single and mixed agroforestry species under field conditions. *Agriculture*. [Internet]. 2023; 13(1):222. doi: <https://doi.org/pjtv>
- [7] Rivera JE, Chará J, Murgueitio E, Molina JJ, Barahona R. Feeding leucaena to dairy cows in intensive silvopastoral systems in Colombia and Mexico. *Trop. Grassl.* [Internet]. 2019; 7(4):370-374. doi: <https://doi.org/pjtw>
- [8] Sánchez-Santana T, López-Vigoa O, Iglesias-Gómez JM, Lamela-López L, Soca-Pérez M. The potential of silvopastoral systems for cattle production in Cuba. *Elem. Sci. Anth.* [Internet]. 2018; 6(1): 82. doi: <https://doi.org/gv4rp4>
- [9] Viñoles C, Fedrigo JK, Gonzalez VB, García L, Báez F. Avances en el conocimiento sobre Sistemas Silvopastoriles en Uruguay. *ALPA*. [Internet]. 2022; 30(Supl. 1):43-53. doi: <https://doi.org/g7zbdj>
- [10] López-Vigoa O, Sánchez-Santana T, Iglesias-Gómez JM, Lamela-López L, Soca-Pérez M, Arece-García J, Milera-Rodríguez MC. Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. *Pastos y Forrajes*. [Internet]. 2017[Recuperado 02 Enero 2025]; 40(2):83-95. Disponible en: <https://goo.su/S9gLduQ>
- [11] Benavides HR, Vargas S, Caicedo D, Carvajal L, Gutiérrez DI, Mina J. Effect of agro-ecosystem and periods of the year upon earthworm population density on silvopastoral systems. *Cuban J. Agricul. Sci.* [Internet]. 2019 [Recuperado 12 Diciembre 2024]; 53(1):197-206. Disponible en: <https://goo.su/PgRd56v>
- [12] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrografía (INAMHI). Datos meteorológicos de la estación meteorológica de Chalpatán, Carchi, Ecuador. Internet [Consultado 19 marzo 2023]. Disponible en: <https://goo.su/QUMVxA>
- [13] Abdisa T. Review on Practical Guidance of Veterinary Clinical Diagnostic Approach. *Int. J. Vet. Sci. Res.* [Internet]. 2017; 3(2):6-25. doi: <https://doi.org/pjtx>
- [14] Mannetje LT, Haydock KP. The dry-weight-rank method for the botanical analysis of pasture. *Grass Forage Sci.* [Internet]. 1963; 18(4):268-275. doi: <https://doi.org/bq9k7m>
- [15] Sanderson MA, Rotz CA, Fultz SW, Rayburn EB. Estimating forage mass with a commercial capacitance meter, rising plate meter, and pasture ruler. *Agron. J.* [Internet]. 2001; 93(6):1281-1286. doi: <https://doi.org/fjmh23>
- [16] Medina MG, García DE, Lamela L, Domínguez CE, Baldizán A, Torres, A. Producción de biomasa forrajera de morera (*Morus alba* Linn.) asociada con gramínea en condiciones de pastoreo simulado. *Pastos y Forrajes*. [Internet]. 2006 [Recuperado 12 Diciembre de 2024]; 29(3):269-280. Disponible en: <https://goo.su/rFNml6k>
- [17] Roche A, Larduet R, Torres V, Ajete A. CalRac: A microcomputer programme for the estimation of ruminant rations. *Cuban J. Agric. Sci.* [Internet]. 1999[recuperado 22 Diciembre 2024]; 33(1):13-19. Disponible en: <https://goo.su/io2n>
- [18] Palacios A, González-Peña D, Guerra D, Espinoza JL, Ortega R, Guillén A, Avila N. Curvas de lactancia individuales en vacas Siboney de Cuba. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* [Internet]. 2016[Recuperada 10 Noviembre 2024]; 7(1):15-28 Disponible en: <https://goo.su/tLMi>
- [19] Duncan DB. Multiple range and multiple F tests. *Int. J. Biom.* [Internet]. 1955; 11(1): 1-42. doi: <https://doi.org/fhcz8h>
- [20] StatPoint Technologies. 2010. Statgraphics Centurion. (ser. Centurion), version 16.1 (XV), [Windows]. [Consultado 15 abr 2012]. Disponible en: <https://goo.su/UptWz>
- [21] Statistical Analysis System. SAS Institute. 2013. The SAS system for windows. Release 9.4. SAS Institute [Consultado 17 may 2017]. Disponible en: <https://goo.su/Fi6car>
- [22] Bueno GA. Sistemas silvopastoriles, arreglos y usos. *Rev. Sist. Prod. Agroecol.* [Internet]. 2012; 3(2):56-83. doi: <https://doi.org/pjtz>

Productividad en Sistemas Silvopastoriles / Benavides y cols.

- [23] López O, Lamela L, Montejo IL; Sánchez T. Influencia de la suplementación con concentrado en la producción de leche de vacas Holstein x Cebú en silvopastoreo. Pastos y Forrajes. [Internet]. 2015[Recuperado 11 Noviembre de 2024]; 38(1):46-54. Disponible en: <https://goo.su/u8dY>
- [24] Santacruz EGI, Guerrero JEA, Estrada JFN. Efecto del arreglo silvopastoril aliso (*Alnus acuminata* K.) y kikuyo (*Pennisetum clandestinum* H.) sobre el comportamiento productivo en novillas Holstein en el altiplano del departamento de Nariño. Agrofor. Neotrop. [Internet]. 2011[Consultado 22 Octubre 2024]. 1(1):28-36. Disponible en: <https://goo.su/lWCK>
- [25] Becerra A, Zak MR, Horton T, Micolini J. Ectomycorrhizal and arbuscular mycorrhizal colonization of *Alnus acuminata* from Calilegua National Park Argentina. Mycorrhiza. [Internet]. 2005; 15(7):525-531. doi: <https://doi.org/d6h94d>
- [26] Silva-Parra A, Garay-Rodríguez S, Gómez-Insuasti AS. Impacto de *Alnus acuminata* Kunth en los flujos de N₂O y calidad del pasto *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. Colomb. For. [Internet]. 2018; 21(1):47-57. doi: <https://doi.org/pjt2>
- [27] Carvalho WFD, Oliveira MED, Alves AA, Moura RLD, Moura RMD. Energy supplementation in goats under a silvopastoral system of tropical grasses and leucaena. Rev. Ciênc. Agron. [Internet]. 2017; 48(1):199-207. doi: <https://doi.org/kp4b>
- [28] Kananub S, Pechkerd P, VanLeeuwen J, Stryhn H, Arunvipas P. Evaluation of influence of milk urea nitrogen on reproductive performance in smallholder dairy farms. Aust. Vet. J. [Internet]. 2020; 98(8):375-379. doi: <https://doi.org/pjt3>
- [29] Rivera JE, Cuartas CA, Naranjo JF, Tafur O, Hurtado EA, Arenas FA, Chará, Murgueitio E. Efecto de la oferta y el consumo de *Tithonia diversifolia* en un sistema silvopastoril intensivo (SSPi), en la calidad y productividad de leche bovina en el piedemonte Amazónico colombiano. Livest. Res. Rural. Dev. [Internet]. 2015; 27(10):189. <https://goo.su/LlBms4Y>
- [30] Conrad KA, Dala RC, Dalzell SA, Allen DE, Fujinuma R, Menzies NW. Soil nitrogen status and turnover in subtropical leucaena-grass pastures as quantified by $\delta^{15}N$ natural abundance. Geoderma. [Internet]. 2018; 313(1):126-134. doi: <https://doi.org/gcz2gd>
- [31] Leite da Silva WA, Poehland R, Carvalho de Oliveira C, Ribeiro-Ferreira MGC, Garcia de Almeida R, Cáceres MBS, Macedo GG, da Costa e Silva EV, Villa-Alaba F, Nogueira E, de Andrade Melo-Sterza F. Shading effect on physiological parameters and *in vitro* embryo production of tropical adapted Nellore heifers in integrated crop-livestock-forest systems. Trop. Anim. Health Prod. [Internet]. 2020; 52(5):2273-2281. doi: <https://doi.org/pjt4>
- [32] Hoyos JE, Angulo J, Mahecha L, Willem H, Cerón MF. Comparación productiva y de calidad en leche de vacas Holstein pastoreando en diferentes sistemas del trópico alto. Acta Agron. [Internet]. 2021; 70(1),35-41. doi: <https://doi.org/pjt5>
- [33] Buza M, Holden L, White R, Ishler V. Evaluating the effect of ration composition on income over feed cost and milk yield. J. Dairy Sci. [Internet]. 2014; 97(5):3073-3080. doi: <https://doi.org/f52h8h>